

# HW1 Classification Report

113024510 廖振宇

## 1. Executive Summary 摘要

- 以純 numpy 手刻的Forward Classification Neural Network (FCNN) 在 第二題的資料集 Ionosphere 上達成 **Test Accuracy = 91.55% / Error Rate = 8.45%**。
- Baseline 架構 [34 → 64 → 32 → 16(Baseline) → 1] 於 **第 99 個 epoch** 取得最佳驗證表現 (Val Loss = 0.271, Val Accuracy = 89.29%, Val Error Rate = 10.71%) ; 並且也順利通過梯度檢查 ( $\epsilon=1e-5$ , 相對誤差  $< 1e-3$ )。
- 對第四層中的node(原先的size = 16)數量進行置換(4、16、32、64、128)並訓練後分析其模型結果, 分析顯示 latent=64 時測試錯誤率最低 (5.63%), 且 latent 投影呈現更清晰的類別分離。

## 2. Data & Preprocessing 資料與前處理

- **資料集 Dataset** : HW1/datasets/2025\_ionosphere\_data.csv , 共 351 筆樣本。
- **切分策略 Split** : 依作業規範打散後切為 Train 224 / Val 56 / Test 71 (64% / 16% / 20%)。
- **標準化與標籤轉換** :
  - 34 個數值特徵以訓練集均值與標準差進行 z-score , 並保存於 metadata 。
  - 標籤 'g' → 1.0 , 'b' → 0.0 ; 最終輸入/輸出皆為 float64 。
- **輸出檔案 Artifacts** :
  - artifacts/classification/training\_history.csv : 完整訓練紀錄。
  - results/classification\_summary.json : Train/Val/Test loss 、 accuracy 、 error rate 。

## 3. Model Architecture & Hyperparameters 模型與超參數

- **網路結構 Architecture** : [34, 64, 32, latent, 1]
  - latent 節點數量可調整 (4, 16, 32, 64, 128)。
  - 隱藏層 ReLU 、輸出層 Sigmoid 。
  - Baseline latent 維度 = 16 (取 latent\_layer\_sizes 第二個元素)。

- 權重以 Xavier Uniform 初始化； `get_latent_output()` 提供倒數第二層特徵。

- **Hyperparameters：**

參數	值
Learning Rate	0.01
Epoch 上限	30,00
Mini-batch Size	32
Gradient Clip	$\pm 1.0$
Early Stopping ( <code>patience</code> , <code>min_delta</code> )	3,00, $1e-6$ (監控 Val Loss)
Random Seed	666,666
Gradient Check	$\epsilon=1e-5$ , 隨機抽取 25 個權重 & Bias ； 最大相對誤差 $< 1e-3$

- **訓練特色 Highlights：**

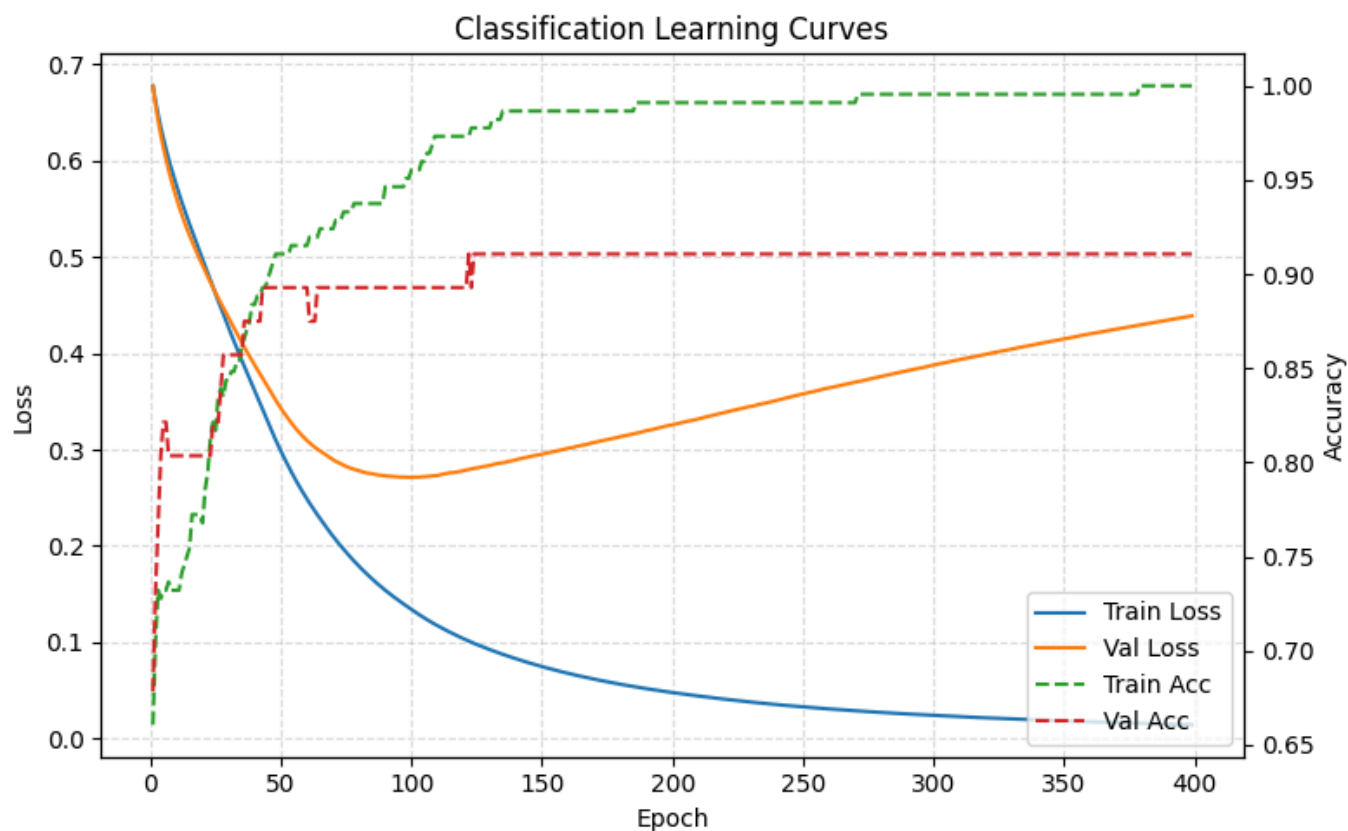
- 每個 epoch 重新打亂批次 ( `seed + epoch` ) 。
- 預設儲存以下 latent 的模型狀況： `epoch0_init` , `epoch1_after_first_update` , `epoch_mid` , `epoch_best` 。
- 透過 `TrainingRecord` 追蹤 Train/Val Loss & Accuracy；最佳權重存於 `artifacts/classification/best_model.pkl` 。

## 4. Learning Dynamics & Best Epoch 學習歷程

- **最佳驗證點 Best Epoch(Baseline)：**第 99 epoch

Metric	Train	Val
Loss	0.1359	0.2712
Accuracy	95.09%	89.29%
Error Rate	4.91%	10.71%

- **學習曲線 Learning Curves：**



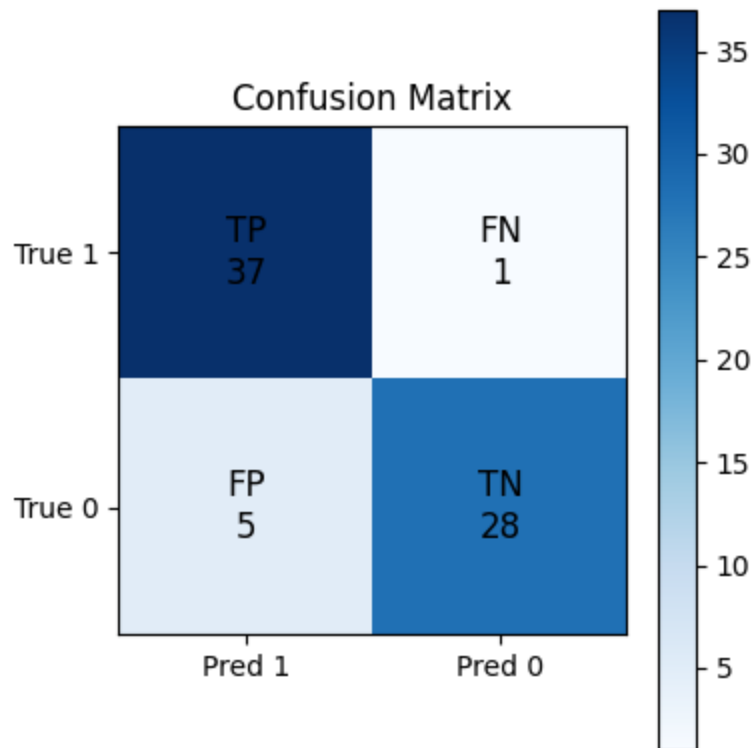
- Loss 自 0.68 降至  $<0.3$ ，Val Loss 於 100 epoch 左右達最低並輕微回升，可以看出在100以後繼續訓練會有點overfitting的跡象，因此 early stopping 在此發揮作用。
- Accuracy 曲線顯示訓練過程平滑且無劇烈震盪，表明梯度裁剪有效穩定收斂。
- 整體而言，學習曲線反映出模型在訓練過程中表現穩定且有效，early stopping 有助於防止過擬合。

## 5. Final Performance 最終效能(Baseline)

- 整體指標 Overall Metrics：

Split	Loss	Accuracy	Error Rate
Train	0.1359	95.09%	4.91%
Val	0.2712	89.29%	10.71%
Test	0.2679	<b>91.55%</b>	<b>8.45%</b>

- 測試集混淆矩陣 Test Confusion Matrix：

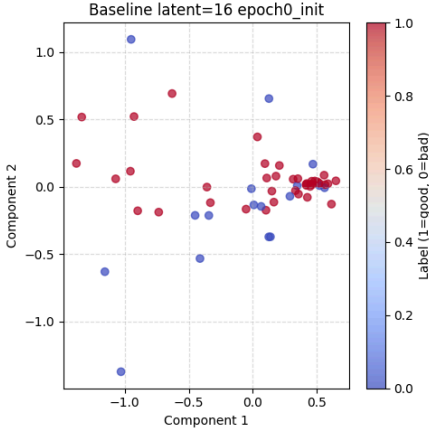
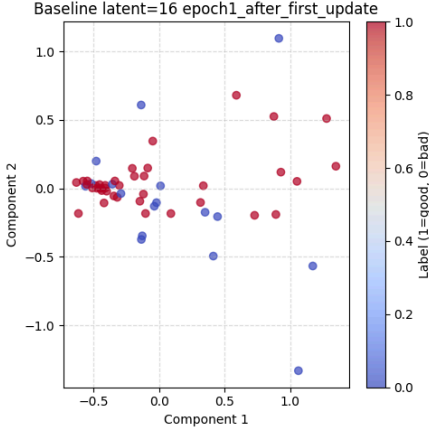
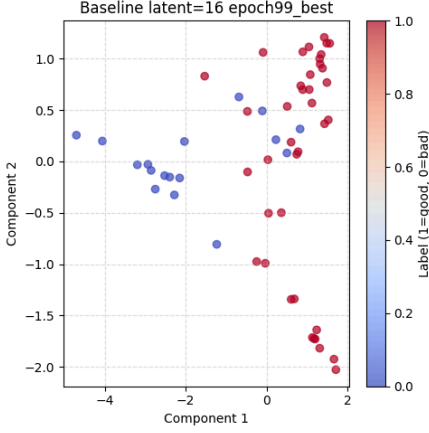


- 數值 (由最佳權重重新推論) :
  - TP = 37, FN = 1
  - FP = 5, TN = 28
- 衍生指標 Derived Metrics : Precision = 0.881、Recall = 0.974、F1 = 0.925。
- 觀察：模型對正類 (良好訊號  $g$ ) 的召回率極高；誤判主要集中於少數 false positive。

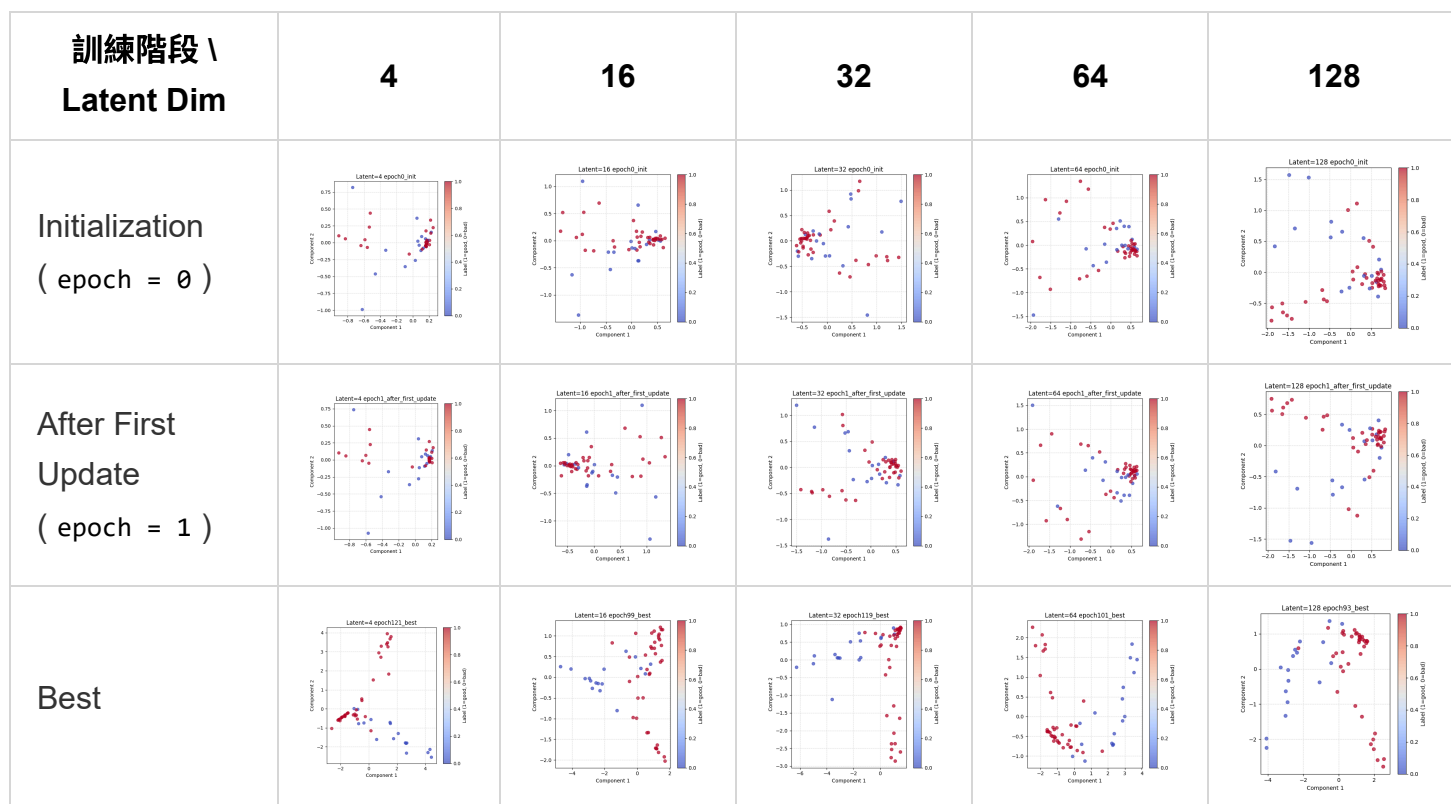
## 6. Latent Nodes Analysis

### 6.1 Baseline Latent (16-d)

- 抽樣視覺化 (驗證集) :

訓練階段 Stage	2D 投影圖	說明
初始 Initialization		類別混雜，僅呈現隨機雜訊。
第 1 次更新 After First Update		早期權重已將少數樣本分離。
最佳驗證 Best		g 與 b 形成明顯集群， 僅少數邊界點重疊。

## 6.1 整體 Latent Sweep Visualization



- 可以看出幾乎所有的latent維度在經過訓練後都能有效分離兩類樣本，而其中又以latent=64的效果最佳，經過訓練後可以幾乎完整的分離兩類樣本，僅有少數邊界點重疊。

## 6.2 Latent Dimension Sweep

- [artifacts/classification/latent\\_comparison.csv](#) 摘要：

Latent Size	Train Err	Val Err	Test Err
4	1.79%	8.93%	8.45%
16	4.91%	10.71%	8.45%
32	3.13%	8.93%	7.04%
64	4.02%	8.93%	<b>5.63%</b>
128	5.36%	8.93%	8.45%

- 分析 Observations：
  - Latent 維度 4 雖在訓練集表現優異，但測試錯誤率與 baseline 相近，顯示泛化的能力有限。
  - 64 維達到最佳測試錯誤率 5.63%，同時維持穩定的驗證錯誤率；而從上方的圖也能看出在這個設定下的訓練後，兩類距離更遠，邊界更清晰。且64的latent所帶來的訓練/測試落差也不

大，顯示其泛化能力較佳。

- 128 維雖然有較高的訓練錯誤率，但測試錯誤率反而回升至 8.45%，暗示過高維度可能導致過擬合。

## 7. Appendix 附錄

- **主要檔案：**

- 程式： `project/src/classification_pipeline.py`
- 設定： `classification_pipeline.CONFIG`
- 最佳權重： `artifacts/classification/best_model.pkl`
- Latent 比較：`artifacts/classification/latent_comparison.csv` 、 `artifacts/classification/latents/`
- 圖表： `project/figures/classification_*.png`

- **重現步驟 Reproducibility：**

```
cd HW1/project
python src/classification_pipeline.py
```

將自動完成前處理、baseline 訓練、評估與 latent 分析，並重新生成所有指標與圖表。